

## МЕХАНІКА ҐРУНТІВ ТА ФУНДАМЕНТИ

## МЕХАНІКА ҐРУНТІВ ТА ФУНДАМЕНТИ

УДК 624.131

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙ ОСНОВИ  
ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ СУМІСНОЇ РОБОТИ ПАЛЬОВИХ ГРУП

О. В. Титко

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ОСНОВЫ  
ДЛЯ ОЦЕНКИ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ СВАЙНЫХ ГРУПП

О. В. Титко

EXPERIMENTAL RESEARCH FOUNDATIONS DEFORMATIONS  
FOR EVALUATION COLLABORATION PILE GROUP

O. Tytko

*Проведено аналіз експериментальних досліджень осадки фундаментів з групи взаємозалежних паль. Виконане оцінювання сумісної роботи пальових груп в залежності від розподілення зусиль між палями. Побудовані графіки, які дозволяють визначити навантаження на палову групу відповідно до зусиль, що виникають в окремих палях.*

**Ключові слова:** фундамент, осадка, паля, палова група, розподіл навантаження, зусилля.

*Проведен анализ экспериментальных исследований осадки фундаментов из группы взаимосвязанных свай. Выполнена оценка совместной работы свайных групп в зависимости от распределения усилий между сваями. Построены графики, которые позволяют определить нагрузку на свайную группу согласно усилий, возникающих в отдельных сваях.*

**Ключевые слова:** фундамент, осадка, свая, свайная группа, распределение нагрузки, усилия.

*The analysis of experimental studies sediments foundations of a group of interrelated driving. The estimation of collaboration pile groups depending on the distribution of effort between the piles. Schedules for determining the load on the pile group under the effort, resulting in separate piles.*

**Keywords:** foundation, draft, pile, pile group, load distribution, effort.

## Вступ

На даний час проектування пальових фундаментів виконується з використанням гіпотези про те, що всі палової групи сприймають однакові навантаження, коли їх довжини рівні [1-4]. Проте, як показують сучасні дослідження роботи пальових груп, має місце перерозподіл навантаження між палями, що не враховується в розрахунках. Ці обставини обумовлюють доцільність подальшого дослідження роботи паль в складі групи.

## Постановка задачі

Задачею роботи є проведення експериментальних досліджень осадки фундаментів і розподілення зусиль між палями для груп К-1, К-2, К-3, К-4 та К-5. Виконати порівняльний аналіз експериментальних результатів дослідження сумісної роботи палі у складі групи з теоретичними.

## Основний матеріал

На основі проведених комплексних розрахунків відповідно до методики [5], були отримані практичні дані осадки фундаментів і розподілення зусиль між палями для груп різних конфігурацій (рис. 1).

K-1	K-2	K-3	K-4	K-5
0 0 0	+ + +	+ 0 +	0 + 0	+ × +
0 0 0	+ + +	0 0 0	+ + +	× 0 ×
0 0 0	+ + +	+ 0 +	0 + 0	+ × +

Рис. 1. Конфігурації пальових кушів

+ – паля довжиною 700 мм; × – паля довжиною 600 мм;  
0 – паля довжиною 500 мм

При випробуванні груп з паль однакової довжини найбільш ефективними виявились групи з відстанню між палями, рівною  $3d$  [4], тому при випробуванні груп із паль різної довжини відстань не варіювалася, а була прийнята рівною  $3d$  для всіх випадків.

Випробовувались групи з 9 паль в двох варіантах:

- найбільш довгими (700 мм) є кутові палі (К-3);
- найбільш довгими (700 мм) є проміжні палі та центральна (К-4);
- найбільш довгі (700 мм) кутові, середні (600 мм) – проміжні, коротка (500 мм) – центральна (К-5).

Випробування проводились в пісках середньої щільності. Кожний дослід повторювався 3-6 раз. Середні результати випробувань подані в таблиці.

На рис. 2 показані графіки зміни осадки пальових груп, які отримані дослідним шляхом і розрахунком. З графіків видно, що теоретичні значення осадки при одних і тих же значеннях навантаження трохи більші експериментальних. Тому у даному випадку аналітичне рішення дає деякий запас навантаження при одній і тій ж осадці.

На рис. 2, б показані експериментальні і теоретичні дані осадки фундаменту К-2 (довжина палі 700 мм). В даному випадку теоретичні значення осадки також більші експериментальних, що може бути оцінено як позитивний фактор. Крім цього важливо відмітити особливість запропонованої методики розрахунку, оскільки за її допомогою враховується збільшення довжини палі в групі при однакових інших умовах. З рис. 2, а і рис. 2, б можна встановити, що при осіданні 5 мм група К-1 сприймає 16 кН, а група К-2 - 21 кН, тобто із збільшенням довжини паль опір групи паль зростає. Осадку пального фундаменту К-3 (рис. 2, в) має практично ті ж значення, що і група К-2, в якому всі палі мають більшу довжину а саме 700 мм. Для пального фундаменту К-4 залежності осадки від навантаження зображені на рис. 2, г, тут кутові палі мають довжину 500 мм, а проміжні і центральна мають довжину 700 мм, також характерно, що теоретична крива "навантаження–осадка" проходить нижче експериментальної.

При цьому теоретичні значення осадки ближчі до експериментальних в порівнянні з аналогічними величинами для групи К-3. Тут можна відмітити також рівні значення опору зовнішнього навантаження групи К-4 в порівнянні з К-2 при меншій загальній довжині паль і однакової площі ростверка.

На рис. 2д побудовані теоретичні та експериментальні залежності „навантаження–осадка” між палями групи К-5, яка складається з комбінації трьох різних довжин паль: кутові – довгі (700 мм), проміжні – середні (600 мм) і центральна – коротка (500 мм). Характерним показником для цієї комбінації є те, що несуча здатність при осадці 5 мм складає 21,5 кН, і є одною з найвищих з випробовуваних груп, також в даному випадку теоретичні значення осадки більші експериментальних, але максимально наближені до дослідних результатів, що підтверджує вірність розрахунків та оцінюється як позитивний фактор.

В даній серії дослідів можна відмітити, що експериментально і теоретично підтверджується економічність груп із паль різної довжини К-3 і К-5 в порівнянні з групою К-2. Разом з тим аналіз показує найбільшу перевагу опору вертикальному навантаженню групи К-5 в порівнянні з К-4, оскільки при осадці 5 мм група К-5 сприймає 21,5 кН, а група К-4 – 19 кН. З теоретичної точки зору це підтверджується тим, що коефіцієнт жорсткості основи групи К-5 дорівнює 892 кН/м, а для групи К-4 – 746 кН/м.

Питання розподілення зусиль між палями має важливе значення для проектування пальових фундаментів і, зокрема, при розрахунку ростверка і подальшому його конструюванні, тому виконувався порівняльний аналіз розподілу зусиль між палями.

На рис. 3 показані результати розподілення зусиль на кутові, проміжні і центральну палі, які входять в фундамент К-1, який завантажений загальним навантаженням 400 кН. З рисунка видно, що теоретична крива практично дає теж значення зусиль на кутові і на центральні палі, що і експеримент. Існують дещо більші розбіжності між теорією і експериментом в зусиллях, які приходяться на проміжні палі. Але ця розбіжність не перевищує 19 %, що допускається з точки зору інженерних розрахунків.

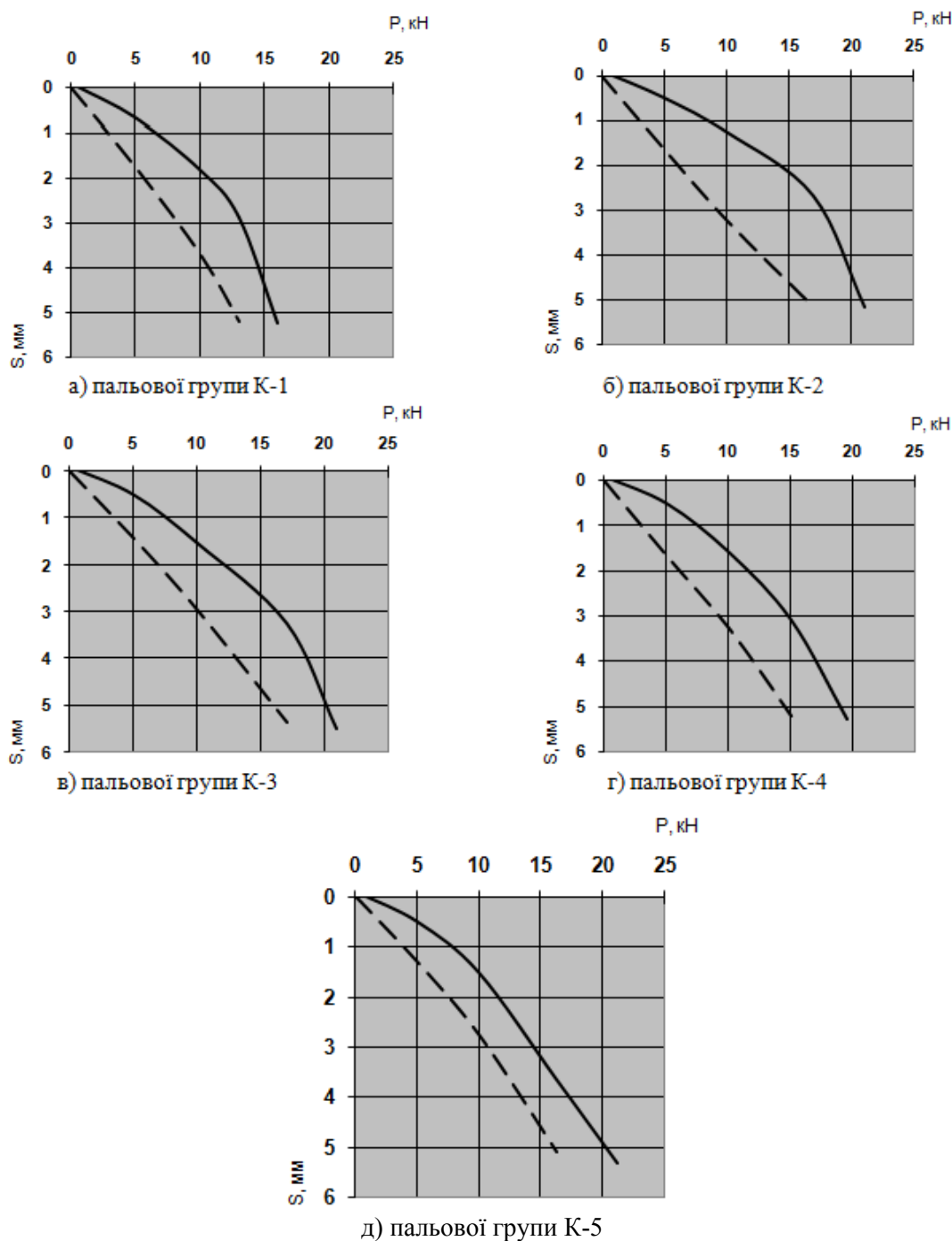


Рис. 2. Порівняння теоретичних та експериментальних результатів досліджень осадок пальових груп  
 — — — — — теоретичні, ————— експериментальні

На рис. 4 наведені значення зусиль, які сприймають кутові і проміжні палі більше ніж експериментальні значення. Відмінність в цих значеннях для кутових паль складає 18 %, а для проміжних – біля 10 %. Зусилля, які сприймає центральна паля, визначені аналітичним методом, менші на 14 % в порівнянні з даними, отриманими з експерименту.

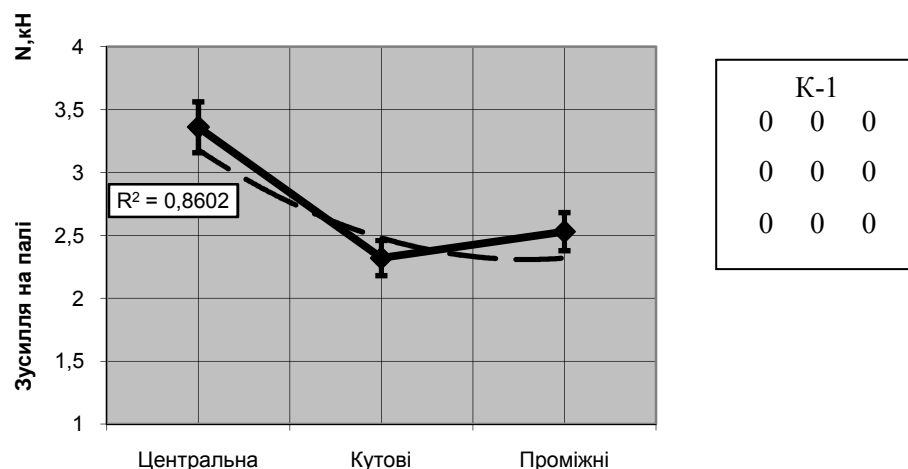


Рис. 3. Порівняння теоретичних та експериментальних даних по розподілу зусиль між палями групи: 0 – довжина паль 500 мм  
 — — — теоретичні, ————— експериментальні

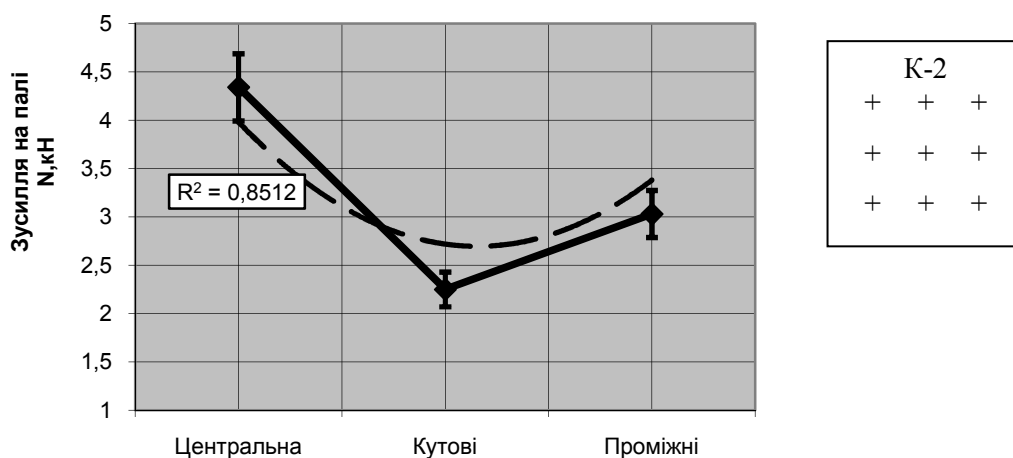


Рис. 4. Порівняння теоретичних та експериментальних даних із розподілу зусиль між палями групи: + - довжина паль 700 мм  
 — — — теоретичні, ————— експериментальні

При аналізі зусиль, які приходяться на палі групи K-3 (рис. 5) виявлено, що теоретичні і експериментальні дані для всіх паль (кутових, проміжних і центральної) мають розбіжності в межах 12%, що можна вважати допустимим з урахуванням точності інженерних розрахунків і сучасного рівня тензометричних вимірювань.

Порівняння результатів розподілу зусиль на палі групи K-4 (кутові палі короткі, а проміжні і центральна довгі) (рис. 6) показує, що найбільш близькими є експериментальні і теоретичні дані для кутових паль. На кутові та на центральну палю палі теорія дає занижені значення в порівнянні з експериментом до 15 %. Крім того, спостерігається суттєва розбіжність в розподілі навантаження між палями групи.

Рис. 7. дає порівняльну характеристику із розподілу навантаження між палями групи K-5,

яка складається з кутових паль довжиною 700 мм, проміжних довжиною 600 мм та центральної палі – 500 мм. В цьому випадку теоретичні розрахунки зусиль завищені для проміжних паль та мають розбіжність з експериментальними даними 12 %, а для кутових та центральної палі – занижені, та мають розбіжність відповідно 10 % та 6 %, що допустимо для інженерних розрахунків. Також характерним для даної групи є те, що розподіл зусиль між палями рівномірний, розбіжність в навантаженнях складає 19 %.

Якщо порівняти загальні сумарні зусилля, які приходяться на всі палі групи, визначені теоретичним шляхом, і загальні зусилля, які приходяться на всі палі визначені експериментально за допомогою тензодатчиків, то для груп К-3 і К-5 ці зусилля практично збігаються, розбіжність не більше 3 %.

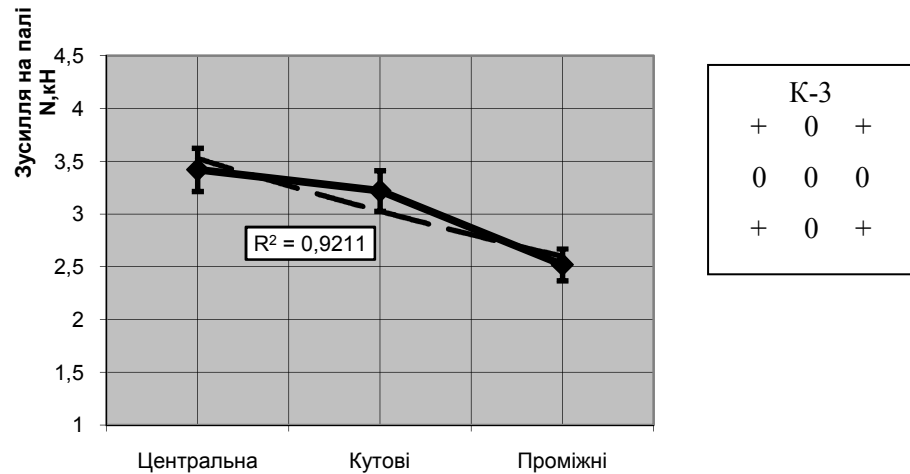


Рис. 5. Порівняння теоретичних та експериментальних даних із розподілу зусиль між палями групи: + – довжина палі 700 мм, 0 – паля довжиною 500 мм  
 — — — теоретичні, ————— експериментальні

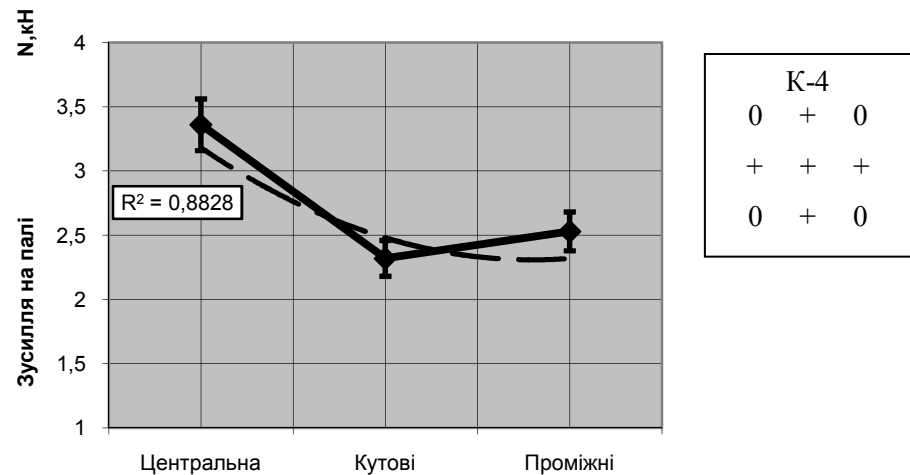


Рис. 6. Порівняння теоретичних та експериментальних даних із розподілу зусиль між палями групи:  
 + – паля довжиною 700 мм; 0 – паля довжиною 500 мм,  
 — — — теоретичні, ————— експериментальні

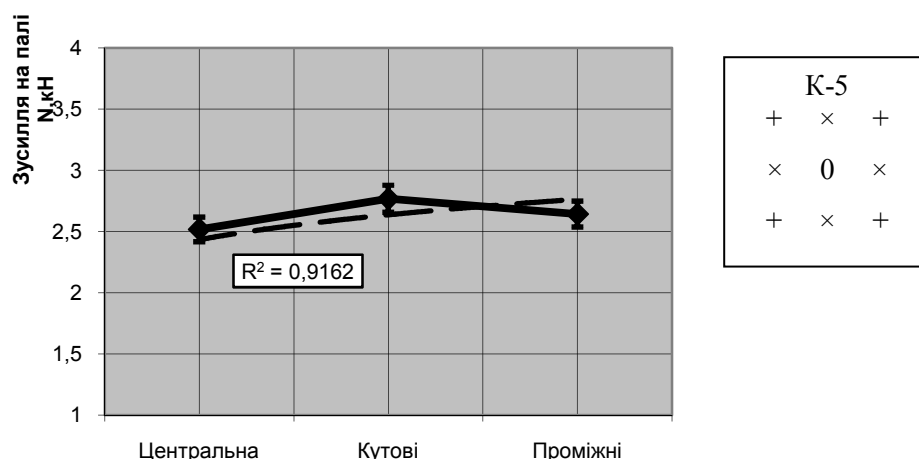


Рис. 7. Порівняння теоретичних та експериментальних даних із розподілу зусиль між палями групи:

+ – паля довжиною 700 мм; × – паля довжиною 600 мм;

0 – паля довжиною 500 мм,

— — — теоретичні, ————— експериментальні

Для групи К-4 теоретична сума більша експериментальної на 16 %, і для груп К-1 та К-2 теоретична сума менша експериментальної на 9 %. При цьому слід відзначити, що загальні навантаження на групи К-1, К-2, К-3, К-4, К-5, які отримані експериментально за допомогою тензодатчиків, практично збігаються із значеннями навантажень, які прикладаються до фундаменту і які вимірювались за допомогою зразкового динамометра. Розбіжності в даному випадку не перевищують 3 %.

Порівняння зусиль, які приходяться на окремі палі в групі, до загального навантаження на групу при заданій осадці дозволили встановити, що кутові палі сприймають 12-13 % загального навантаження, а проміжні біля 10 % і центральна паля 6-8 %.

Таблиця 1

Результати модельних випробувань груп взаємозалежних паль різної довжини

Тип групи	Положення палі в групі	Довжина палі, мм	Граничне навантаження на групу, кН	Несуча здатність одиначної палі, $F_{од}$ , кН	Осадка групи в момент втрати несучої здатності, мм	Теоретична несуча здатність групи ( $\Sigma F_{од}$ ), кН	Коефіцієнт ефективності, $K_{ЕФ}$
К - 1	всі палі	500	17,8	2,23	8,5	20,07	0,86
К – 2	всі палі	700	21,9	2,87	11,2	25,83	0,86
К - 3	кутові	700	22,7	2,87	10,5	23,27	0,89
	проміжні центральна	500		2,23			
К - 4	кутові	500	21,6	2,23	11,0	21,63	0,85
	проміжні центральна	700		2,87			
К - 5	кутові	700	22,8	2,87	10,2	23,43	0,91
	проміжні	600		2,43			
	центральна	500		2,23			

### Висновки

- Наведені експериментальні і теоретичні дані показують, що розрахунок пальових фундаментів за деформаціями основи підтверджується експериментом.
- Перевірка виконана для груп із паль однакової довжини при збільшенні заглиблення групи, а також для груп із паль різної довжини.
- Конструктивні схеми розміщення паль в групі можуть бути піддані аналізу за допомогою побудованих графіків.
- Порівняння зусиль, які приходяться на окремі палі в групі до загального навантаження на групу при заданій осадці, дозволили встановити, що кутові палі сприймають 12-13 % загального навантаження, проміжні біля 10 % і центральна паля 6-8 %.
- Використання паль різної довжини дозволяє скоротити загальну довжини паль фундаменту, що зменшує витрати бетону та трудозатрати для їх влаштування.
- Виконані дослідження показують, що при скороченні довжини паль до 25 % несуча здатність групи із паль різної довжини рівна несучій здатності групи із паль однієї довжини.

### Використана література

1. Рак С. М. Исследование работы свай / С. М. Рак. – М.: Машстройиздат, 1980. – 463 с.
2. "Основания и фундаменты", под ред. проф. Леонарда Д. А., Стройиздат, М., 1988.
3. Новикова Л. А. Экспериментальные и теоретические исследования совместной работы основания и фундаментов из парных призматических свай / Л. А. Новикова // Труды 11 Украинской научно-технической конференции по механике грунтов и фундаментостроению. – Часть 111. – Полтава. – 1996. – С. 39-46.
4. Титко О. В. Оцінка ефективності фундаментів з групи взаємозалежних паль: монографія / О. В. Титко. – Вінниця: ВНТУ, 2007. – 114 с.

**Титко Олег Васильович** – к.т.н., доцент кафедри теплогазопостачання Вінницького національного технічного університету

**Титко Олег Васильевич** – к.т.н., доцент кафедры теплогазоснабжения Винницкого национального технического университета

**Titko Oleg** – Ph.D., docent of department of Gas Supply Vinnytsia National Technical University